

лена, пропилена и бутиленов более 35 мас.%. При этом повышение температуры позволяет получать продукт с повышенным содержанием этилена.

Часто актуальной задачей является переоборудование существующих установок каталитического крекинга топливного назначения на нефтехимический вариант без существенного изменения реакторного блока установки. При этом увеличение выхода легких олефинов достигается посредством изменения состава применяемого катализатора, а условия осуществления процесса крекинга остаются постоянными.

Катализаторы крекинга нефтехимического назначения имеют принципиальное отличие от катализаторов крекинга топливного назначения присутствие в композиции относительно высокого содержания второго цеолита ZSM-5. Увеличение селективности образования легких олефинов для катализаторов каталитического

крекинга может быть достигнуто применением модифицированных компонентов катализатора с низкой активностью в реакциях межмолекулярного переноса водорода. В рамках исследований в ЦНХТ ИК СО РАН разработаны подходы по катионному модифицированию цеолита Y (катионы редкоземельных элементов) и анионному – цеолита ZSM-5 (соединения фосфора), которые позволяют создавать катализаторы крекинга нефтехимического назначения, обеспечивающие не менее 25 мас.% легких  $C_2$ – $C_4$ -олефинов при крекинге сырья с различной степенью гидроочистки при стандартной температуре процесса (510–530 °C).

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект ААА-А-А21-121011890074-4).

### Список литературы

1. Доронин В.П., Сорокина Т.П. // *Российский химический журнал*, 2007. – Т. 51. – №4. – С. 23–29.
2. Doronin V.P., Potapenko O.V., Sorokina T.P., Lipin P.V., Dmitriev K.I., Plekhova K.S., Kondrashev D.O., Kleimenov A.V. // *Catalysis Today*, 2021. – DOI: 10.1016/j.cattod.2021.02.017.

## ФОРМАЛИЗОВАННАЯ СХЕМА ПРЕВРАЩЕНИЯ ЛЕГКОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ НА ЦЕОЛИТНОМ КАТАЛИЗАТОРЕ

А.А. Алтынов

Научный руководитель – д.х.н., профессор ОХИ ИШПР Е.И. Короткова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, altynov\_andrey@tpu.ru

Ежегодный рост потребления товарных нефтепродуктов становится причиной поиска альтернативного сырья для переработки. Не маловажным в производстве моторного топлива является подбор катализатора, основываясь на его экологичности, стоимости, активности и селективности. Перспективным сырьем для производства высокооктановых компонентов автомобильного бензина является стабильный газовый конденсат, а перспективным катализатором – цеолит. Процесс цеоформинга объединяет в себе обе составляющие.

Для прогнозирования и оптимизации цеоформинга легкого углеводородного сырья различного состава необходима математическая модель процесса. Основой любой математи-

ческой модели процесса является составление формализованной схемы превращения веществ.

На основе экспериментальных данных об индивидуальном углеводородном составе образцов стабильного газового конденсата и продуктов их переработки на цеолитном катализаторе был составлен список теоретически возможных реакций. Общее количество теоретически возможных реакций – 805. В Таблице 1 представлен перечень теоретически возможных реакций.

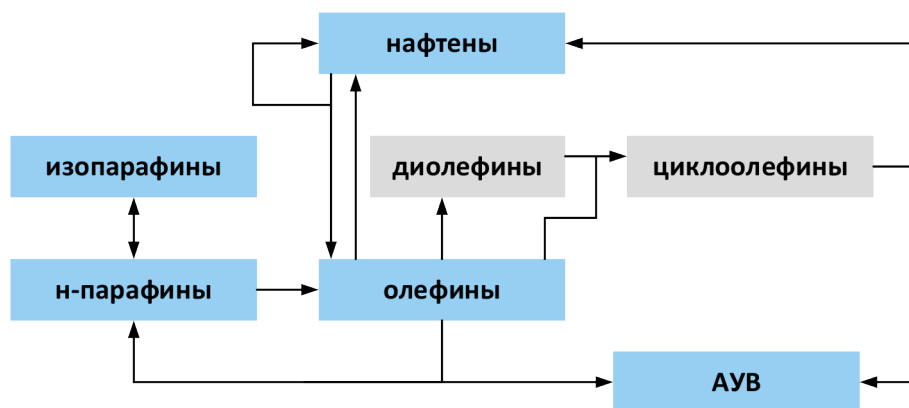
Для всех теоретически возможных реакций с использованием методов квантовой химии в программной среде Gaussian (GaussianView 5.0) были определены термодинамические характеристики [1]. Расчет значений энергии Гиббса проводили при условиях реализации процесса

цеоформинг (при температурах 375 °С (648 К); 400 °С (673 К); 425 °С (698 К) и давлении 2,5 атм.).

По результатам термодинамического анализа установлено, что в условиях цеоформинга стабильного газового конденсата термодинамически возможно протекание 721 реакции. В Таблице 2 представлен перечень термодинамически возможных реакций.

Исходя из списка полученных реакций, формализованная схема превращений углеводородов будет выглядеть следующим образом (рисунок 1).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90157.



**Рис. 1.** Формализованная схема превращения легкого углеводородного сырья на цеолитном катализаторе

**Таблица 1.** Перечень теоретически возможных реакций

Тип реакции	Количество реакций
Изомеризация парафиновых углеводородов	102
Крекинг парафиновых углеводородов с образованием олефинов	34
Перераспределение водорода в олефинах с образованием ароматических углеводородов (АУВ) и н-парафинов	600
Перераспределение водорода в олефинах с образованием диолефинов	22
Диеновый синтез с образованием циклоолефинов	12
Перераспределение водорода в циклоолефинах с образованием нафтенy и АУВ	7
Алкилирование с образованием нафтенy из олефинов	21
Крекинг нафтенy с образованием олефинов и нафтенy	7

**Таблица 2.** Перечень термодинамически возможных реакций

Тип реакции	Количество реакций
Изомеризация парафиновых углеводородов	51
Крекинг парафиновых углеводородов с образованием олефинов	28
Перераспределение водорода в олефинах с образованием АУВ и н-парафинов	600
Перераспределение водорода в олефинах с образованием диолефинов	4
Диеновый синтез с образованием циклоолефинов	7
Перераспределение водорода в циклоолефинах с образованием нафтенy и АУВ	7
Алкилирование с образованием нафтенy из олефинов	21
Крекинг нафтенy с образованием олефинов и нафтенy	3

## Список литературы

1. Ochterski J.W. *Thermochemistry in Gaussian*. Gaussian, Inc., 2000. – 19 с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ КОНДЕНСАЦИИ

Е.С. Апарина

Научный руководитель – к.х.н., доцент ОХИ Е.В. Бешагина

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634034, Россия, Томская обл., г. Томск, проспект Ленина, 30, [tpu@tpu.ru](mailto:tpu@tpu.ru)

## Введение

В рамках исследовательской работы рассматривался процесс низкотемпературной конденсации (НКТ) потока газа месторождения Кировской области. Данный процесс предназначен для разделения углеводородных газов, то есть выделения отдельных фракций для дальнейшей их переработки и использования. Актуальность представленной работы обусловлена не только подбором технологических параметров целостной технологической схемы процесса низкотемпературной конденсации, широко применяемого в промышленности, но и использованием в качестве сырья газа с месторождения, эксплуатируемого в настоящее время [1]. Моделирование производилось в среде программы Aspen HYSYS [2].

## Теоретическая часть

Разделение углеводородных газов методом НТК предполагает охлаждение исходного газа отдельным источником холода до требуемой температуры при постоянном давлении, откуда фракции извлекаемых продуктов конденсируются и в дальнейшем разделяются на газожидкостных сепараторах [3].

Первым этапом работы было построение технологической схемы процесса низкотемпературной конденсации в среде моделирования Aspen HYSYS, в результате чего были получены данные по расходам и составам потоков, выходящих из установок схемы.

Поскольку температурные режимы и установленное давление оказывают непосредственное воздействие на выделение отдельных компонентов газового потока [3], необходимо было выявить наиболее оптимальные значения данных параметров посредством их варьирования в аппаратах. Это являлось основой второго этапа работы.

Третий этап заключался в обработке полученных данных, сопоставлении результатов при разных значениях температуры и давления на установках и реализации на схеме процесса низкотемпературной конденсации с выбранными для отдельных аппаратов параметрами. Технологическая схема исследуемого процесса представлена на рисунке 1.

## Результаты работы и вывод

Целью работы являлось воспроизведение технологической схемы процесса низкотемпературной конденсации в моделирующей среде Aspen HYSYS, запуск в качестве сырья

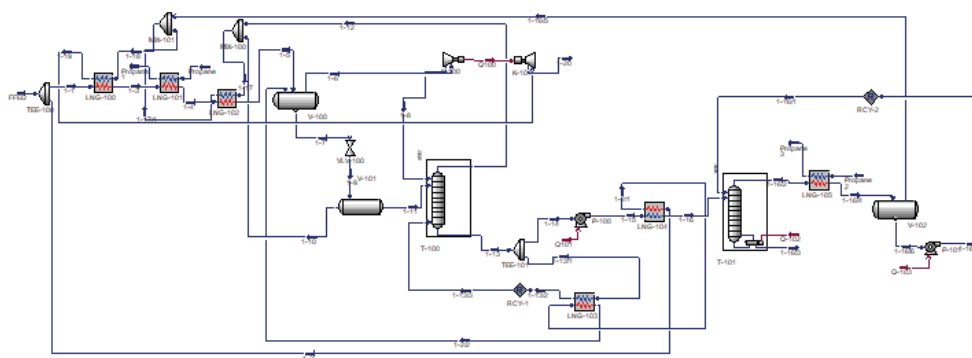


Рис. 1. Технологическая схема процесса низкотемпературной конденсации